

ANÁLISE, INVESTIGAÇÃO E AVALIAÇÃO DA GESTÃO DA QUALIDADE NO PROCESSO DE MINERAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE AS DIVERGÊNCIAS NOS DESVIOS DE ESTOQUE DE MINÉRIO DE FERRO

ANALYSIS, INVESTIGATION AND EVALUATION OF QUALITY MANAGEMENT IN THE MINING PROCESS: A CASE STUDY ON DIVERGENCIES IN IRON ORE STOCK DEVIATIONS

Rafael da Silva Fernandes* E-mail: rafasfer2@ufra.edu.br
Lucas Rafael Castro de Sousa* E-mail: lucasraf.castro@gmail.com -
Thaynara Lopes dos Santos* E-mail: sthaynaralopes@gmail.com -

*Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, PA

Resumo: É de grande relevância a cautela com as informações de estoques, num processo de produção do minério de ferro, para que os saldos apontados em sistemas informatizados apresentem acurácia com os saldos físicos armazenados. Tem-se assim, que a acurácia determina a capacidade da empresa em fornecer informações confiáveis aos stakeholders ao permitir a identificação de divergências, sendo que a sua falta, pode acarretar em efeitos indesejáveis nos diversos processos organizacionais. Neste âmbito, o objetivo deste trabalho é duplo: num primeiro momento, visa responder a seguinte pergunta: Como minimizar os desvios entre estoque físico e contábil, do produto *Pellet feed Especial*, nas etapas de produção e expedição de um mineradora localizada no sudeste do estado do Pará, por meio da aplicação da metodologia PDCA e ferramentas para a melhoria da qualidade? E, num segundo momento, visa fornecer à empresa, em particular ao setor envolvido, ferramentas da qualidade para que, estas, sejam aplicadas continuamente como melhoria do processo estudado. No entanto, após observar uma melhora inicial da Qualidade, posteriormente o processo apresentou medidas fora dos limites de especificação. Por fim, uma nova análise e investigação quantitativa de variáveis ainda não consideradas foi realizada, propondo a continuação do estudo para alcançar resultados mais satisfatórios, em particular, quanto a redução das divergências no processo produtivo abordado.

Palavras-chave: Avaliação da Qualidade. Divergências em Estoques. Melhoria da Qualidade. Metodologia PDCA. Processo de Mineração.

Abstract: It is of great importance to be cautious with stock information, in an iron ore production process, so that the balances indicated in computerized systems are accurate with the stored physical balances. In this context, the objective of this work is twofold: at first, it aims to answer the following question: How to minimize the deviations between physical and accounting stock, of the product *Pellet feed Especial*, in the production and shipping stages of a mining company located in the southeast of the state Pará, through the application of the PDCA methodology and tools for quality improvement? And, in a second step, it aims to provide the company, particularly the sector involved, with quality tools so that they can be applied continuously to improve the studied process. However, after observing an initial improvement in Quality, the process subsequently presented measures outside the specification limits. Finally, a new analysis and quantitative investigation of variables not yet considered was carried out, proposing the continuation of the study to achieve more satisfactory results, in particular, regarding the reduction of divergences in the production process addressed.

Keywords: Quality Evaluation. Inventory divergences. Quality Improvement. PDCA Methodology. Mining Process.

1 INTRODUÇÃO

O setor de mineração no Brasil exerce uma forte influência na economia nacional e, principalmente, nas localidades em que as indústrias de extração exercem suas atividades. De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM - Agência Nacional de Mineração 2020), o Brasil ocupa a segunda posição mundial em produção de minério de ferro tendo, no ano de 2019, uma produção bruta de 510.437.771 toneladas, sendo a região do estado do Pará responsável por 190.452.847 toneladas e o estado de Minas Gerais responsável por 311.052.695 toneladas.

O mercado das empresas mineradoras no Brasil, destaca-se pela grande extensão geográfica e pela diversidade de tipos de minérios. As minas que compõem o circuito de Carajás, na região da Amazônia e no estado do Pará, são consideradas o minério de ferro de melhor qualidade no mundo (VALE, 2020).

O processo de extração e mineração é responsável por grande parte do crescimento do PIB no Brasil e impacta diretamente no desenvolvimento dos municípios onde estão localizadas, dada a compensação financeira pela exploração de recursos minerais – CEFEM (ANM 2020), que no estado do Pará foi de R\$ 444.973.850.23 no ano de 2019.

Em contrapartida, principalmente aos aspectos econômicos e sociais, o processo produtivo gera impactos negativos quanto aos aspectos ambientais. Tais impactos podem trazer consequências como a poluição do ar, a escassez de água, contaminação do solo, descarte de resíduos tóxicos, além do risco de rompimento das barragens de rejeitos. (AYUB *et al.*, 2019, RIBEIRO *et al.*, 2019, FELICIANO; GARCIA 2020, ROMERO, 2020; REICHL; SCHATZ; MASOPUST, 2020).

Nesta perspectiva, sendo o setor de mineração de grande influência na sociedade como um todo, abarcando toda a sua cadeia produtiva, é necessário promover a adoção de práticas de gestão de responsabilidade social corporativa e busca por soluções ótimas que integram os aspectos econômicos, sociais e ambientais. (GAN; GRIFFIN, 2018, SHEN *et al.*, 2018; NICHOLLS, 2020; CLUNE; O'DWYER, 2020).

Para que o minério de ferro chegue ao cliente final com as especificações exigidas, etapa final do macroprocesso de mineração, este inicia pela etapa de lavra, na qual é extraído o mineral da frente de lavra e transportado por meio de caminhões

“off-road” até o início da etapa de beneficiamento. Esta segunda etapa, de acordo com as Normas Reguladoras de Mineração – NRM, é entendida como o tratamento de minérios, visando preparar granulometricamente, concentrar ou purificar minérios, por métodos físicos ou químicos sem alteração da constituição química dos minerais. Sendo o processamento dividido nas subetapas de cominuição, classificação, concentração, separação sólido/líquido e manejo, até ser destinado com suas especificações ao cliente final (LUZ; LINS, 2010; SANE, 2017).

Ao final do processo de beneficiamento ocorre a formação dos estoques de produtos acabados, que são armazenados em pilhas, iniciando então, a terceira etapa e denominada de expedição, na qual, ocorre o transporte destes produtos da mina ao porto, por meio do transporte ferroviário.

É de grande relevância a cautela com as informações de estoques, para que os saldos apontados em sistemas informatizados apresentem acurácia com os saldos físicos armazenados. Temos assim, que a acurácia determina a capacidade da empresa em fornecer informações confiáveis aos *stakeholders* ao permitir a identificação de divergências, sendo que a sua falta pode acarretar efeitos indesejáveis nos diversos processos organizacionais.

Dado que um processo produtivo deve ser, necessariamente e do ponto de vista da Qualidade, bem planejado, controlado e avaliado, torna-se fundamental investimentos em políticas de Gestão da Qualidade, adotando ferramentas quantitativas e qualitativas capazes de fornecer melhores informações e suportes às tomadas de decisão. Dessa forma, a Gestão da Qualidade aparece como um importante componente estratégico para munir as organizações de instrumentos e métodos de controle e melhoria dos processos. (GARCIA *et al.*, 2015; TORNELLI, 2017; DRUMMOND; ARAÚJO; BORGES, 2017; WARELL, 2018).

No entanto, processos que possuem inúmeras possíveis causas de não conformidades, as quais podem ser difíceis de serem identificadas e mensuradas, tornam mais dificultoso e custoso o processo de Controle da Qualidade e, assim, resultando em medições fora das especificações. No contexto deste trabalho, um problema recorrente surge em comparar o estoque contábil ao estoque físico. O primeiro, sendo o registro feito pelas balanças no sistema de gerenciamento da produção e o segundo medido nas pilhas de minério, por meio de coleta de amostras. Logo, este problema acarreta no ajuste manual dos desvios de estoque identificados

que, geralmente, estão fora dos limites especificados pela organização (WERK *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2019; LAURINTINO *et al.*, 2019; BASSI *et al.*, 2020).

Neste âmbito, diante do problema apresentado e da importância da acurácia do inventário de estoque, este trabalho realizou um estudo em uma mineradora multinacional localizada no sudeste do estado do Pará, a qual produz diversos produtos de minério de ferro, dentre eles *sínter feed*, *natural pellet* (granulado), *pellet feed* e *pellet feed especial*, o último é o foco deste estudo, o qual apresentou, no ano de 2019, um histórico de desvios percentuais no inventário de estoque nas etapas de produção e expedição, levando à realização de ajustes manuais no sistema de gerenciamento a fim de conciliar as informações divergentes entre os apontamentos do estoque físico e contábil, afetando diretamente a confiabilidade das informações de produção e expedição da empresa.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é duplo: Num primeiro momento, o objetivo visa responder a seguinte pergunta: Como minimizar os desvios entre estoque físico e contábil, do produto *Pellet feed Especial*, nas etapas de produção e expedição de um mineradora localizada no sudeste do estado do Pará, por meio da aplicação da metodologia PDCA e ferramentas para a melhoria da qualidade? E, no segundo momento, visa fornecer à empresa, em particular ao setor envolvido, ferramentas da qualidade para que, estas, sejam aplicadas continuamente como melhoria do processo estudado ou seja, melhorar o resultado, aplicar o SDCA como sustentação dos ciclos de melhoria e novamente girar o ciclo PDCA.

2 METODOLOGIA

Tipicamente, estudos que visam medir graus de diferenças em processos produtivos, enquadram-se numa grande área conhecida como Gestão e Avaliação da Qualidade, em particular neste trabalho, com foco em atividades operacionais no processo produtivo de minério de ferro, que enfatiza as atividades-fim (efeitos = estoque físico), dado por meio da atividade-início (estoque contábil), considerando assim, as consequências das atividades-meio (causas) e que, por sua vez, impactam diretamente nos custos de produção (Paladini 2019). Desta forma, produzir a qualidade no contexto deste estudo, refere-se à minimização dos desvios entre estoque físico e contábil, do produto *Pellet feed Especial*.

Isto posto, este processo de avaliação da qualidade visa dimensionar, delimitar e direcionar o enfoque das ações da Gestão da Qualidade no Processo. Logo, diante deste enquadramento teórico, este trabalho tem como base a metodologia PDCA como forma inicial de investigar as causas geradoras do problema em estudo, e por sua praticidade cíclica e ininterrupta, promove, a melhoria contínua e sistemática da organização, consolidando a padronização de práticas. Na Figura 1, um modelo genérico do ciclo PDCA é apresentado.

Figura 1 – Detalhamento do Ciclo PDCA.



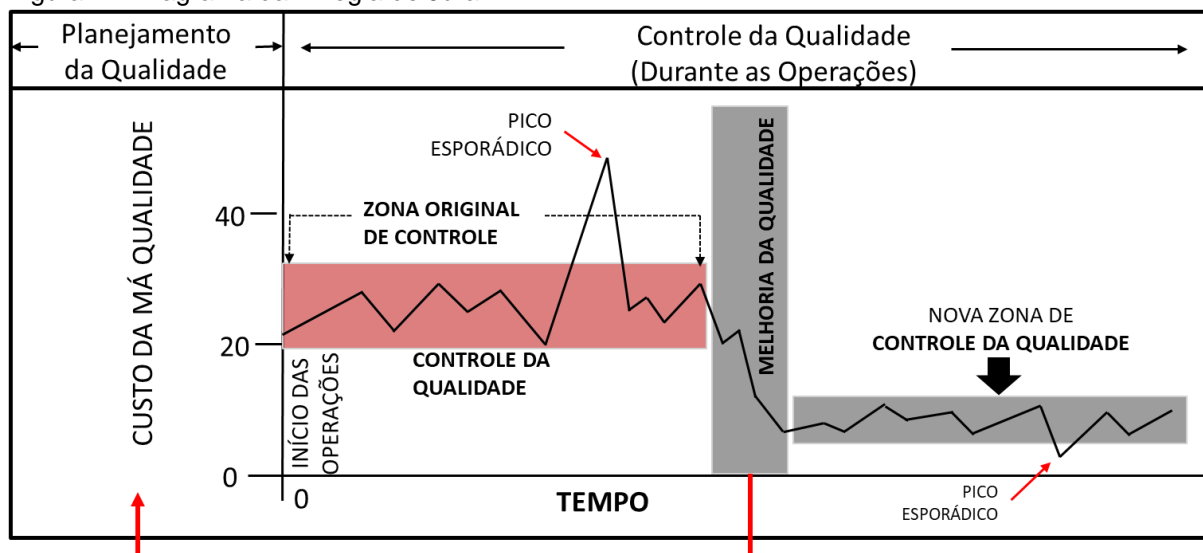
Fonte: (Coutinho 2017).

Ademais, por se tratar de Gestão da Qualidade no Processo, (Defeo and Juran 2015) propõem que a organização precisa considerar, no plano estratégico, as metas e políticas de Qualidade, e a conversão dessas metas em resultados, estas, alcançadas por meio de processos gerenciais estabelecidos (CHIARINI, 2020; XU *et al.*, 2020). A gestão voltada para a Qualidade faz uso amplo de três processos gerenciais: [1] Desenvolvimento de *design* ou planejamento voltado para Qualidade; [2] Conformação, Controle ou Garantia da Qualidade; [3] Melhoria ou criação de saltos da Qualidade. Estes três processos são conhecidos como *Trilogia Juran*, os quais são interrelacionados, como ilustrado na Figura 2.

O diagrama da trilogia de Juran relaciona-se com as falhas em produtos e processos. A escala vertical exibe o custo da má qualidade, sendo a perfeição o zero,

e o tempo no eixo horizontal. O resultado das reduções das falhas, é a redução do custo da má qualidade. O gráfico mostra que a variabilidade foi reduzida à um nível mais baixo, devido às melhorias implantadas e bem sucedidas.

Figura 2 – Diagrama da Trilogia de Juran.



Fonte: Adaptado de Defeo e Juran (2015)

Por fim, este trabalho está estruturado da seguinte forma.

Num primeiro momento, após a identificação do problema de pesquisa, realizou a coleta de dados durante todo o ano de 2019, exceto o mês de novembro, quando não houve inventário, e até junho de 2020, através do banco de dados do sistema de gestão da empresa. Os dados coletados referem às pesagens do material, tanto na produção quanto na expedição, registros de calibração das balanças de produção, histórico de densidade, registros de topografia, além da consolidação dos inventários mensais.

Em posse dos dados coletados, foi aplicado a metodologia PDCA, na qual a etapa de Planejamento (P), foi subdividida em: Análise e descrição do Processo e é apresentado na Seção 3, Identificação do Problema, realizado na Seção 3, Análise do Fenômeno (Seção 5) que inclui a Investigação da Causas (Seção 5.1) e o Estabelecimento do Plano de Ação (Seção 5.2), onde as diversas ferramentas da Gestão da Qualidade foram aplicadas. Em seguida, em continuidade as etapas subsequentes do ciclo PDCA, foi avaliado os resultados obtidos na Seção 6. Por fim, as conclusões foram apresentadas na Seção 7.

3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

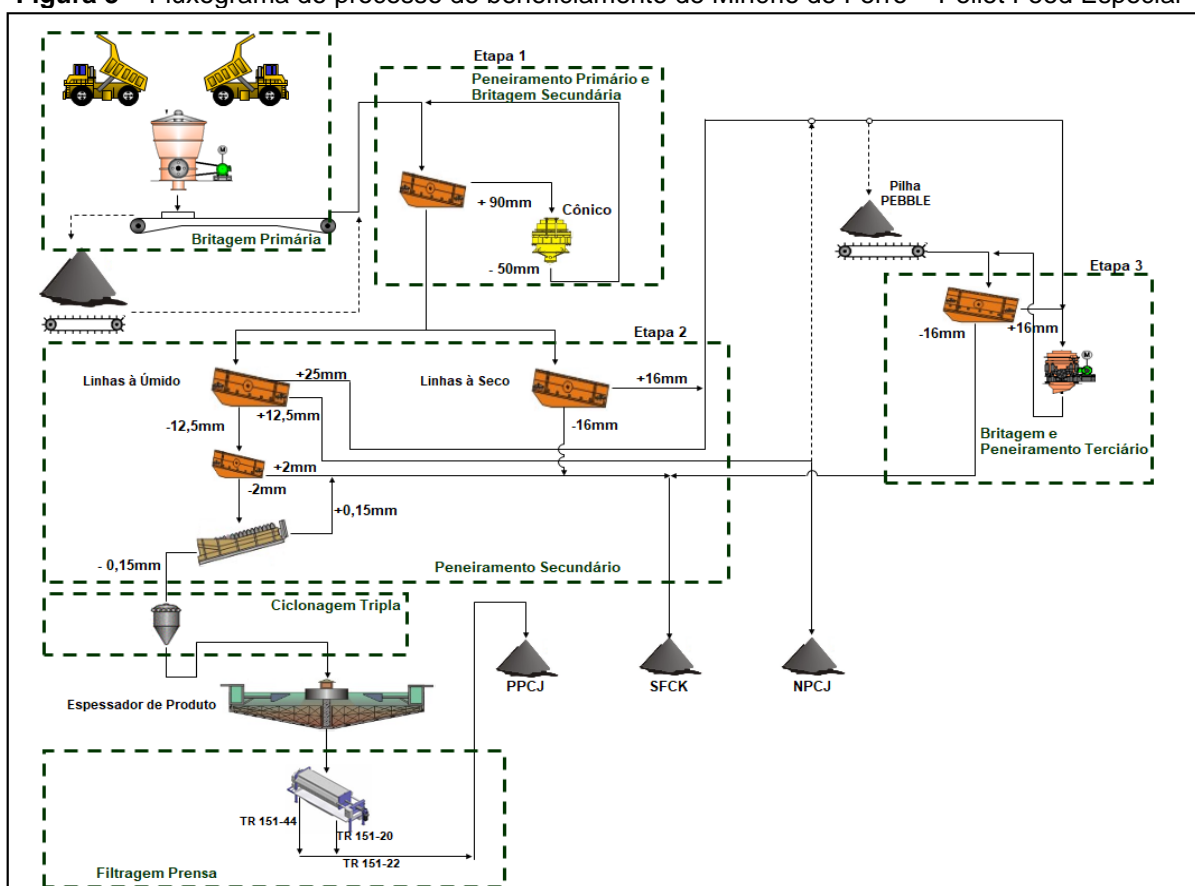
Comumente, em processos de mineração, o seu macroprocesso é dado pelas fases de lavra, na qual o minério é retirado das minas em sua forma bruta, a fase de beneficiamento, onde o minério passa por etapas de tratamento físico-químico, para a adequação às exigências do cliente, a próxima fase a expedição, onde o material é estocado em forma de pilhas nos pátios de armazenamento e, para então dar continuidade à fase de escoamento, o minério é transportado por via ferroviária até o porto marítimo, onde ocorre a pelotização, para ser destinado ao cliente final por meio de navios (LOVÓN-CANCHUMANI; LIMA; OLIVEIRA, 2015).

Na situação problema deste trabalho, o processo apresentado e estudado, corresponde ao final da fase de beneficiamento, onde ocorre a produção do produto abordado *Pellet Feed Especial*, e início da fase de expedição, onde a massa expedida é contabilizada, no fluxograma da Figura 3 e descrita a seguir.

- **Etapa 1 (Britagem Primária)** – Inicialmente o material bruto, advindo da frente de lavra e denominado “Run Of Mine – ROM”, é despejado na britagem primária e segue o fluxo de processamento, o qual conta com três etapas de redução e classificação granulométrica.
- **Etapa 2 (Peneiramento Primário e Britagem Secundária)** – O material proveniente da britagem primária com medida de corte abaixo de 90mm será classificado pelo peneiramento primário e encaminhado ao peneiramento secundário. Para granulometria maior que 90mm, o material é enviado à britagem secundária até que este alcance a medida de corte de 50mm, e só então classificado para a etapa seguinte.
- **Etapa 3 (Peneiramento Secundário)** – Nas linhas a úmido, o material com granulometria na fração entre 12,5mm e 25mm é classificado como Granulado (NPCJ), o que estiver acima de 25mm é encaminhado para britagem terciária e para medidas entre 0,15mm e 2mm, o material é classificado como produção de *Sinter Feed (SFCK)*. A fração menor que 0,15 é destinada a etapa que se segue, ciclonação, em forma de polpa, formada por água mais sólidos. Nas linhas a seco é destinado a britagem terciária, o material com granulometria acima de 16mm e para medidas abaixo desse valor é classificado como produção de *Sinter Feed (SFCK)*.

- **Etapa 3.1. (Britagem e Peneiramento Terciário)** – Nesta etapa, o material é reduzido e classificado até que este atinja a granulometria menor que 16mm para a produção de *Sinter Feed (SFCK)*.
- **Etapa 3.2. (Ciclonação Tripla)** – A ciclonação tem a função de capturar a fração de super finos, com granulometria superior a 0,045mm, e de alimentar os espessadores (grandes tanques utilizados para adensar a polpa), com o objetivo de disponibilizar massa para as plantas da filtração a disco e prensa, ambas possuem a função de secar o material, sendo a filtração a prensa, utilizada para produzir o produto *pellet feed especial*.

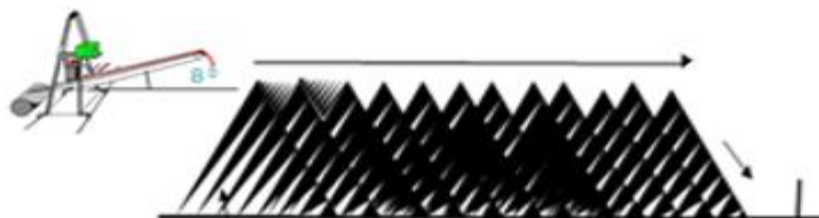
Figura 3 – Fluxograma do processo de beneficiamento de Minério de Ferro – Pellet Feed Especial



- **Etapa 4 (Filtração de Prensa)** – A filtração à prensa possui 10 filtros responsáveis pela secagem e produção do *Pellet Feed Especial*. Após o processo de filtração o material segue dois fluxos de medição de produção que se unem para uma única empilhadeira que realizará a estocagem em um pátio denominado Pátio “A”, que possui três áreas destinadas para o armazenamento deste produto.

O modo de empilhamento do produto é o *conevron*, no qual a empilhadeira forma pilhas em forma de cones ao longo da área de estocagem, como representado na Figura 4.

Figura 4 – Empilhamento Conevron.



Fonte: Adaptado de Maia *et al.* (2012)

- **Etapa 5 (Estocagem)** – Esta etapa pertence ao processo de produção, e para sua contabilização são utilizadas duas balanças nas correias transportadoras denominadas de TR151-20 e TR151-44. Após a estocagem do material, quando este é retirado das pilhas, inicia-se o processo de expedição, no qual as recuperadoras realizam a retirada do produto armazenado e destina-o para o silo de carregamento, onde são carregados os vagões dos trens que realizam o transporte do minério de ferro até o porto Ponta da Madeira em São Luís – MA onde é exportado para o cliente.

4 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Todo material produzido é pesado e contabilizado por meio das balanças de produção e de expedição. Para contabilizar a massa expedida, através dos silos de carregamento, é utilizado as balanças ferroviárias (balanças presentes nos trilhos), sendo que em cada silo há uma balança de tara, a qual pesa o vagão vazio e uma balança *de bruto*, que pesa o vagão carregado. A diferença entre a balança de bruto e de tara é o peso líquido, ou seja, a massa expedida, retirada do estoque.

O estoque contábil é formado a partir dos apontamentos das medições realizadas nas balanças de produção, e a baixa desse estoque acontece quando há as expedições. Diariamente ocorre a variação nesse estoque, em função das movimentações de produção e expedição.

Mensalmente são feitas medições topográficas, realizadas através de levantamentos aerofotogramétrico, gerando nuvens de pontos por meio de sobrevoo das áreas dos pátios, para determinação volumétrica do estoque. Sendo esta metodologia aceita pelos órgãos internacionais que auditam e certificam as empresas de mineração para garantir a veracidade de suas reservas e estoques na bolsa de valores.

A metodologia utilizada para a determinação da densidade do minério estocado em pilhas é descrita por Abreu (2009) e consiste em cavar uma espécie de “poço” com paredes regulares em uma superfície plana, retirar e pesar o material que o ocupava e revestir o poço com um plástico fino e resistente preenchendo-o com água, com o auxílio de uma proveta graduada, para se obter o volume da área de onde foi retirada a massa de material, determinada pela equação:

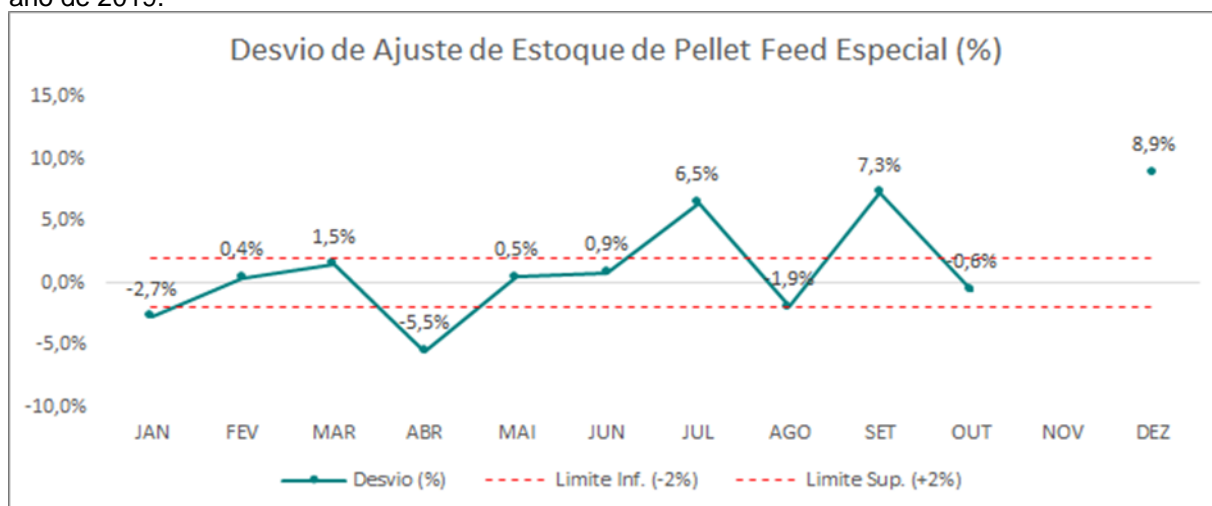
$$D = \frac{\text{Massa do material escavado}}{\text{Volume do poço escavado}} \quad (1)$$

A conciliação entre o estoque físico e contábil é realizada após a transformação do valor do volume medido topograficamente, em massa, a qual é calculada através da fórmula: $m = V \cdot d$, na qual m é a massa do produto, V o volume encontrado e d a densidade do produto, considerando a densidade do material na pilha. Essa conciliação é realizada através do inventário, no qual consiste na averiguação entre o estoque físico e contábil, onde é realizado ajustes, no caso em que haja alguma divergência entre eles. Neste momento é esperado que ocorram desvios entre os estoques, levando em consideração a margem de erro de precisão das balanças de produção e expedição, que é especificada no manual do fabricante, de $\pm 1\%$, cada balança. No entanto, diversas vezes, ao realizar a conciliação, estes desvios apresentam picos muito além dos limites aceitáveis, referentes aos $\pm 2\%$, o que pode comprometer a confiabilidade das informações apontadas, pois, a ausência de confiabilidade das informações sobre os saldos dos itens em estoque, pode comprometer o atendimento aos clientes finais e internos, causando perdas e, retrabalho pela necessidade de ajustes manuais. (ESSER, 2010).

Com intuito de entender o problema, analisar seu histórico e a frequência da sua ocorrência, foi aplicado a carta de controle, a qual, dentre suas funções, está: evidenciar que um processo está ocorrendo ou não sob controle estatístico, sinalizar

anomalias nos processos e apresentar dados para tomadas de decisão gerencial e melhoria de processos (TURUTA, 2015). Esta, é representada na Figura 5 a seguir, tendo como referência os dados do ano de 2019¹. Deste modo, foi possível observar a frequência com que os desvios de estoque se posicionam fora dos limites especificados.

Figura 4 – Carta de Controle referente aos desvios de ajuste de estoque de Pellet Feed Especial, do ano de 2019.



Por tanto, para que possíveis soluções sejam apontadas, é necessária uma análise mais profunda dos dados para investigação das causas que levam aos desvios acentuados do estoque. A Análise do Fenômeno é então realizado levando em consideração o processo descrito e o problema identificado, sendo ainda necessário o levantamento do histórico de todas as informações, bem como a frequência de ocorrência de não conformidades. Desta forma, os métodos e ferramentas são definidos para que as causas sejam levantadas e, posteriormente, ações sejam planejadas, almejando assim a mitigação do problema abordado (GOMES, 2017).

¹ Não houve a coleta do dado referente à nov/2019.

5 ANÁLISE DO FENÔMENO

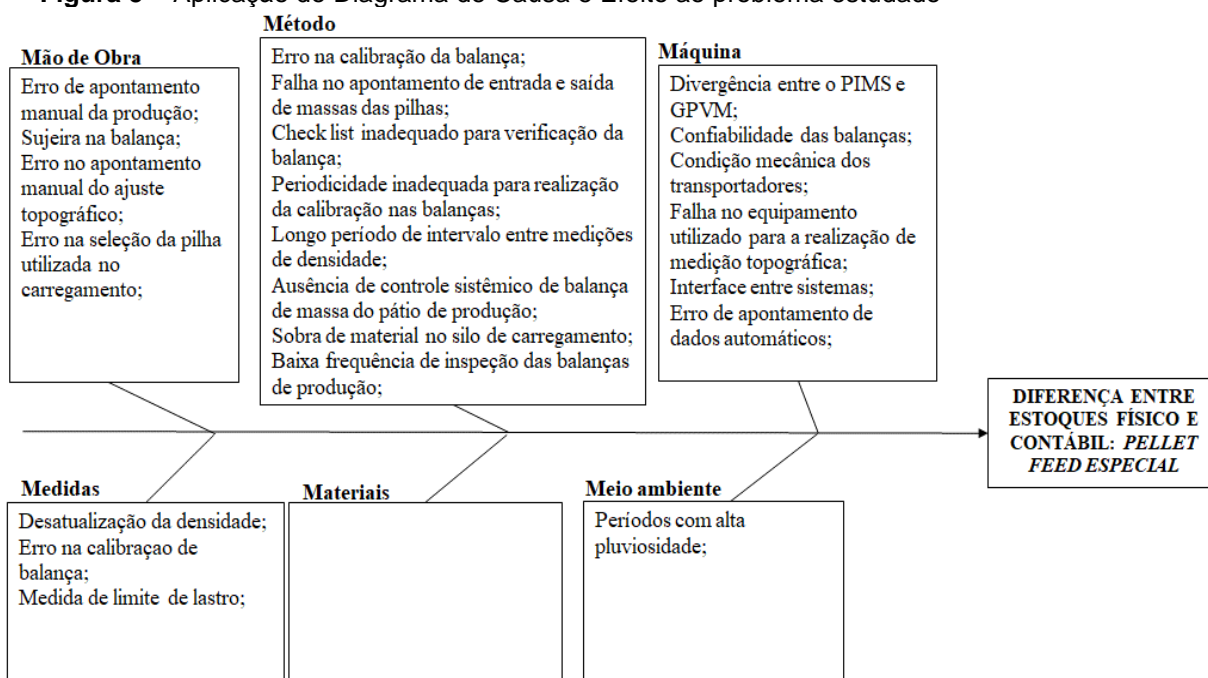
5.1 Investigação das Possíveis Causas

Um estudo realizado por Silva *et al.* (2020) mostra a importância e utilidade das ferramentas da qualidade para a melhoria da qualidade, aplicadas na implantação de metodologias, como o seis sigma, a qual vem se difundindo nas organizações pelos resultados positivos que esta proporciona para o processo produtivo e resolução de problemas. Além disso, Xu *et al.* (2020) apresenta uma revisão sistemática e examina como práticas individuais de gestão da qualidade influenciam diretamente as dimensões de desempenho das empresas.

A fim de levantar as possíveis causas geradoras da alta divergência dos valores do estoque, utilizou-se inicialmente a ferramenta *brainstorming*, pela qual os indivíduos emitem ideias de forma livre, com o propósito de lançar e detalhar ideias com determinado enfoque, onde ocorre a apresentação do assunto, problema ou situação de forma clara e objetiva; geração e documentação das ideias; análise e seleção dessas (MARSHALL, 2012).

Esta metodologia foi realizada pelos autores em conjunto com membros da equipe envolvida no processo produtivo estudado, sendo o supervisor da gestão de estoque e um técnico e o supervisor da área de balança, agrupando as variáveis por categoria, através do diagrama de Ishikawa (ver Figura 6), a qual auxilia na identificação, exploração e apresentação das possíveis causas de uma situação ou problema específico, relacionadas às áreas como: Mão-de-obra, materiais, máquinas, medidas, meio ambiente e métodos (PEINADO, 2007).

Figura 5 – Aplicação do Diagrama de Causa e Efeito ao problema estudado



É importante destacar que a categoria de “materiais” não teve nenhuma causa associada, pois refere-se ao minério de ferro, o qual não se modifica química ou fisicamente de modo a interferir diretamente no processo abordado.

Após o levantamento das possíveis causas, levando em consideração a complexidade de atuação sobre todas as causas apontadas, a ferramenta matriz de priorização (Matriz GUT) foi aplicada, na qual foi adicionado o aspecto de poder de atuação, que leva em conta o custo, o impacto na rotina e o período para implementação das variáveis levantadas. A Tabela 1 apresenta as causas que possuem maior impacto sobre os desvios de estoques, sendo a primeira a periodicidade inadequada para a realização da calibração das balanças, seguida da desatualização da densidade e a baixa frequência de inspeção das balanças de produção.

Tabela 1 – Matriz GUT e Poder de atuação

Problema	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)	Poder de atuação (P)	Resultado
Erro de apontamento manual de produção	5	4	4	1	80
Erro de calibração de balança	5	5	4	1	100
Sujeira na balança	4	3	3	3	108
Erro no apontamento manual do ajuste topográfico	5	3	2	4	120
Erro na seleção da pilha utilizada no carregamento	3	3	3	3	81
Falha no apontamento de entrada e saída de massas da pilha	3	3	4	3	108
Check list inadequado para verificação da balança	3	3	4	3	108
Ausência de controle sistêmico de balança de massa do pátio de produção	3	2	2	5	60
Sobra de material no silo de carregamento	3	3	3	3	81
Divergência entre PIMS e GPVM	4	4	2	3	96
Confiabilidade das balanças	5	4	3	1	60
Condição mecânica dos transportadores	4	3	3	1	36
Periodicidade inadequada para realização da calibração nas balanças	4	4	4	4	256
Falha no equipamento utilizado para realização de medição topográfica	5	4	3	1	60
Interface entre sistemas	3	4	2	3	72
Desatualização da densidade	4	3	4	5	240
Baixa de frequência de inspeção das balanças de produção	3	3	3	5	135
Medida de limite de lastro	5	3	3	2	90
Períodos com alta pluviosidade	2	2	3	1	12

5.2 Estabelecendo o Plano de Ação

Após priorizar as possíveis causas, um plano de ação foi elaborado utilizando como base a metodologia 5W1H (BASSAN, 2018). No Quadro 1 foram propostas cinco ações de execução e, estas, envolveram basicamente: a gestão de estoque, composta por supervisor e técnico responsável e supervisão de balança, representada pelo supervisor de balança.

Quadro 1 – Aplicação da ferramenta 5W1H ao problema em estudo.

Who Quem:	Why Por que:	When Quando:	How Como:
Supervisão de balança	Adequar conforme padrão das balanças de produção do site	nov/19	Alterando procedimento da área
Supervisão de gestão de estoque	Para adequar ao período sazonal das chuvas na região	jan/20	Alterando procedimento da área
Supervisão de gestão de estoque	Para verificar condições operacionais das balanças	fev/20	Inserindo na rotina dos técnicos do pátio
Supervisão de gestão de estoque	Para proporcionar <i>double check</i> de diferença entre balanças	fev/20	Solicitando a equipe alterações necessárias para equipe de automação
Supervisão de gestão de estoque	Gerar informativo de desvio entre balanças	fev/20	Utilizando o excel e interface automática com o PIMS

Ademais, vale ressaltar que as ações de execução alteraram alguns procedimentos padrões e adaptações de equipamentos, como acionamento de uma balança redundante, até então não utilizada, atrelada ao circuito de produção do PPCJ. Os responsáveis pelas tarefas foram acionados e orientados para as novas propostas a serem realizadas.

Neste contexto, é possível descrever, detalhar e agrupar as possíveis causas em 3 subproblemas para o desvio de estoques, sendo:

- **Problema 1 (*Periodicidade inadequada para a realização da calibração das balanças*):** A alteração do plano de calibração das balanças de produção do *Pellet Feed Especial* (PPCJ), reduzida de trimestral para mensal, foi motivada pelo fato de que, de acordo com o procedimento operacional padrão, as balanças que medem produção, indiferentemente do produto produzido em todo o site, são obrigatoriamente calibradas mensalmente, e o plano da balança de produção de PPCJ ainda não tinha sido adequado ao padrão.
- **Problema 2 (*Desatualização da densidade*):** A atualização da densidade era realizada anualmente, porém, foi observado que a sazonalidade poderia estar afetando a densidade do produto, levando em consideração que o material estocado fica exposto a intempéries. Devido a influência da umidade adquirida das chuvas, que em determinados períodos são acentuadas na região, tendo

o índice pluviométrico nos meses de janeiro a março, por exemplo, maior que 250mm, com pluviosidade média anual de 1564 mm (Global Solar Atlas 2021). Quando o material absorve umidade ele fica mais pesado e o valor da sua densidade pode variar daquele fixado anualmente. Por isso a ação de diminuir os intervalos entre as medidas de densidade.

- **Problema 3 (*Baixa frequência de inspeção das balanças de produção*):**
Visto que a área responsável pela gestão de estoque não possuía rotina de verificação das balanças em campo, foi implementado uma rotina de inspeção semanal, avaliando a condição operacional da balança.

Além das ações diretamente relacionadas às causas priorizadas, observou-se a oportunidade da implantação de duas ações de controle: o acionamento da balança redundante do circuito de produção do PPCJ, e a criação de relatório comparativo entre as balanças de produção e balança redundante, com intuito de promover um *doublecheck* da contabilização da massa produzida.

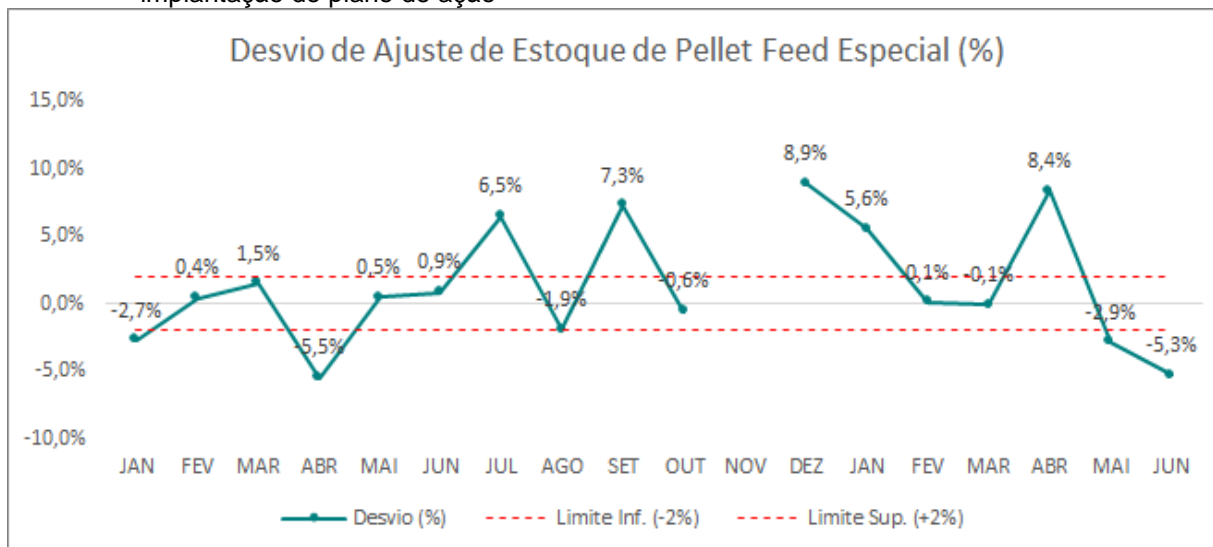
As medidas sugeridas foram implantadas no prazo estabelecido e contando com a colaboração das áreas envolvidas no processo. O controle do acompanhamento das ações foi conduzido pela área responsável da gestão de estoque, através da realização de rotina de verificação do status das ações, acionando, quando necessário, as áreas de interface para execução delas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise de Verificação do Primeiro Giro PDCA

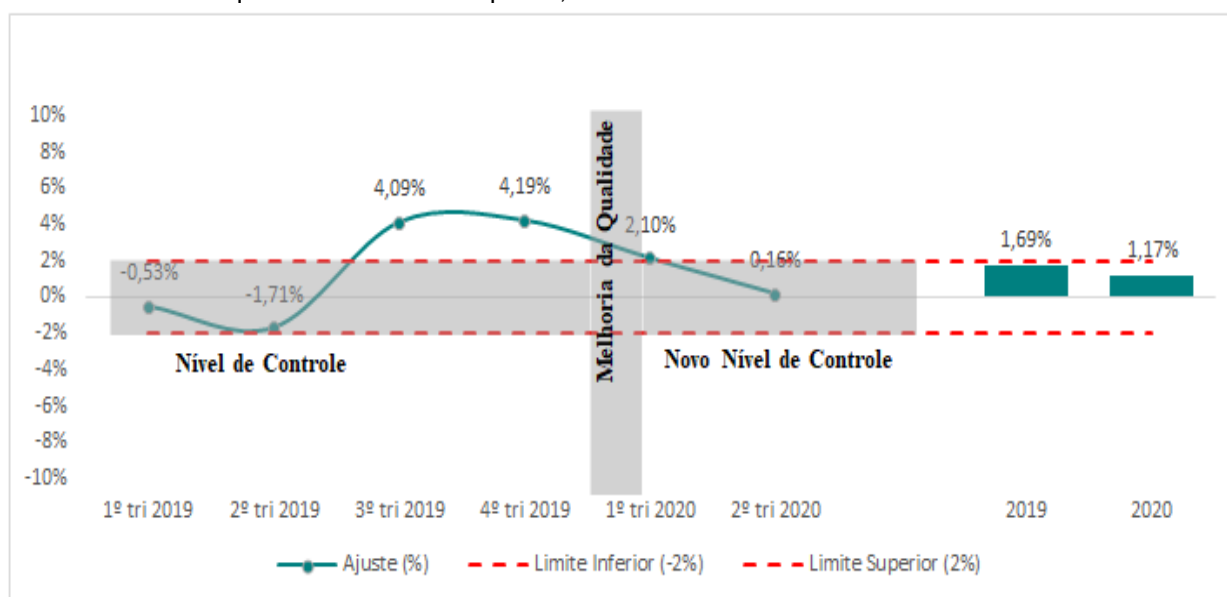
Para certificação de que as medidas executadas, de fato corroboraram para a redução dos desvios, inicia-se a fase de verificação, na qual, aplicou novamente a carta de controle para averiguação dos resultados, a partir dos novos dados obtidos. Foi possível notar uma redução dos desvios nos primeiros meses após a implementação das ações propostas (Figura 7).

Figura 6 – Carta de Controle referente ao desvio de ajuste de estoque de Pellet Feed Especial, após implantação do plano de ação



Ao conferir a média trimestral, entre os anos de 2019 e 2020, os resultados trimestrais demonstram uma tendência de minimização dos desvios, também apresentada analisando a média anual dos desvios entre os dois anos. Os valores referentes ao ano vigente, embora com disponibilidade dos dados somente até o mês de junho, é mais favorável até então, se comparado ao ano anterior (Figura 8).

Figura 7 – Diagrama da Trilogia de Juran aplicado à média trimestral e anual dos desvios de ajuste de estoque de Pellet Feed Especial, dos anos de 2019 e 2020.



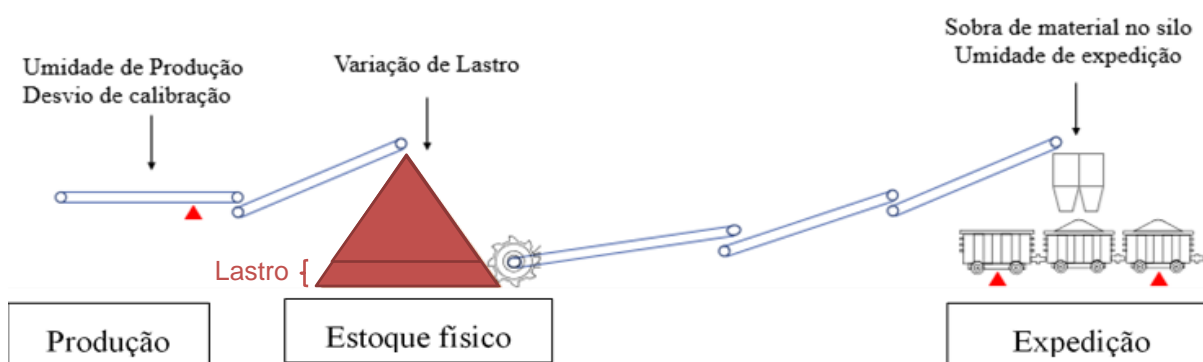
Contemplando a última etapa do ciclo PDCA, a de agir (*act*), apesar da constatação da redução dos altos valores dos desvios de ajuste de estoque, estes ainda continuaram ocorrendo fora dos limites especificados, como apresentado nas Figuras 7 e 8, sendo necessária reaplicação das etapas que consistem a metodologia PDCA, dando início à uma nova fase de planejamento, de forma quantitativa, que se deu após a implantação das ações mapeadas. Os resultados obtidos foram expostos para a equipe envolvida no processo.

6.2 Análise de Verificação do Segundo Giro PDCA

No segundo giro do PDCA, um novo *brainstorming* foi realizado e a equipe destacou quatro potenciais causas dos desvios entre estoques, sendo estas dentro do alcance de atuação da área responsável, quantificáveis e que até então não foram analisadas.

A Figura 9 representa o fluxo do processo e uma melhor visualização da etapa do processo produtivo onde encontram-se tais variáveis.

Figura 9 – Fluxo do processo produtivo Pellet Feed Especial.



Causa 1: Na etapa de produção a umidade do produto foi considerada devido a variação de umidade existente na expedição. Foram avaliados os meses de janeiro a julho de 2020, através de dados obtidos por meio de relatório de umidade diária, e inferiu-se que no período mencionado houve um aumento da umidade da expedição em relação à produção. Ao absorver umidade, o material fica mais pesado, e isso influenciará para que o valor da massa contabilizada pela balança não corresponda a massa real expedida. O registro contábil dará baixa na diferença da massa, porém no

estoque físico esse valor permanecerá, necessitando de um ajuste positivo no estoque contábil, ajustando-o ao valor do físico.

Causa 2: A partir de novembro de 2019, após a adequação do plano de calibração das balanças de produção para uma periodicidade mensal, uma distribuição linear da calibração de cada mês, dessas balanças foi realizada, a fim de analisar o impacto dos erros de calibração sobre os desvios de inventário.

Causa 3: O lastro é a parte inferior da pilha que está entre o piso (primitivo) e a pilha, sendo geralmente compactada por não sofrer movimentação e estar sob pressão da massa da pilha. Este possui densidade diferente da medida na pilha. Entretanto, na análise dessa variável observou-se que o lastro está sob constantes movimentações, o que torna a densidade do material movimentado similar à densidade da pilha.

Causa 4: Atualmente existe um limite determinado em procedimento que permite a sobra de material nos silos de carregamento ao final do carregamento do produto PPCJ, desde que este não contamine, granulometricamente, o seguinte. Esta sobra de material pode acarretar em valores de estoque contábil maior que o estoque físico, gerando um ajuste negativo.

Consolidando os dados apresentados, foi realizada a análise para entender qual o impacto dessas variações sobre os altos valores de desvios de estoque. Os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise do impacto das variáveis sobre os ajustes dos desvios de estoque.

Início	Fim	Produção (ton)	Ajuste real (ton)	Ajuste real (%)	Δ Umidade Prod. x Exp. (ton)	Sobra de material no silo (ton)	Desvio de calibrações (%)	Variação de lastro (ton)	Ajuste corrigido (ton)	Ajuste corrigido (%)
03/12/2019	07/01/2020	201.616	11.282	5,60%	73	848	0,15%	-612	12.981	6,44%
07/01/2020	04/02/2020	126.170	159	0,13%	216	1.109	0,13%	430	789	0,63%
04/02/2020	06/03/2020	209.259	-137	-0,07%	324	913	0,21%	817	83	0,04%
06/03/2020	06/04/2020	171.719	14.372	8,37%	417	1.174	0,32%	1.192	14.482	8,43%
06/04/2020	06/05/2020	159.990	-4.578	-2,86%	170	913	0,13%	-2.955	-665	-0,42%
06/05/2020	01/06/2020	169.078	-9.006	-5,33%	103	848	0,07%	-609	-7.529	-4,45%
01/06/2020	03/07/2020	183.021	-5.937	-3,24%	219	717	0,09%	2.622	-7.893	-4,31%

Pode-se notar que no mês de abril, houve uma redução significativa do ajuste percentual para o período de -2,86% para -0,42%, inferindo que as variáveis analisadas contribuíram para as divergências entre os estoques do mês referido.

Considerando as variáveis analisadas, para a variação de umidade, sugere-se que a área responsável pela gestão de estoques estude a implementação de fator de correção de unidade. Após analisar os relatórios de calibração, não foram encontradas variações significativas que pudessem interferir nos desvios, porém a equipe responsável relatou que é possível ter outras variáveis influentes nas balanças de pesagem e foi recomendado manter a análise nas calibrações seguintes. A variação do lastro também apresentou impacto significativo nos desvios do inventário, por tanto foi aconselhado que a supervisão de topografia realize a atualização do limite de lastro conforme limite de recuperação das máquinas de pátio. Para a sobra de material no silo, zerar a massa total do silo pode gerar impactos no tempo de carregamento do trem, desta forma, foi recomendado a realização de uma análise da área para reduzir o limite aceitável de sobra de material no silo. Para facilitar o controle da área de gestão de estoques, sugere-se a criação de um balanço de massa, facilitando a identificação do impacto das variáveis até então conhecidas.

7 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou um processo de avaliação da qualidade da etapa de expedição do produto de minério de ferro *pellet feed* especial, de uma mineradora multinacional localizada no sudeste do estado do Pará, levando em consideração os dados de pesagem do ano de 2019. Por conseguinte, buscou-se fornecer à empresa, em particular ao setor envolvido, um arcabouço de ferramentas da qualidade como suporte de melhoria do processo produtivo.

Em resposta a esta problemática, os dois objetivos apresentados neste artigo foram atendidos, por meio da aplicação da metodologia PDCA, ferramentas da qualidade e métodos quantitativos e qualitativos de investigação de causas, aplicado ao contexto da mineração.

Considerando a complexidade do problema estudado, a diversidade e quantidade das causas que contribuem para o acometimento deste, os seus impactos negativos sobre o processo produtivo e resultados da organização, os resultados

mostram uma redução da média dos desvios, de 1,69% (2019) para 1,17% (2020). Além disso, após o segundo giro do PDCA, proporcionou a explicação da variabilidade para as variáveis discutidas e justificativa quantitativa para os ajustes manuais dos desvios de estoque.

Importante ressaltar que, mesmo não atingindo um resultado esperado, este trabalho proporcionou margem para novos giros do ciclo PDCA ao engajar, o setor da empresa em estudo, à busca por melhoria contínua do processo por meio de análises sistemáticas e aprofundadas sobre as causas que diretamente impactam nas altas divergências entre estoques. Sugere-se, por tanto, que a equipe responsável fique incumbida da continuidade de novos giros do PDCA.

Em síntese, este trabalho contribuiu para o processo em estudo, auxiliando os gestores responsáveis a enxergarem de forma mais abrangente e analítica a minimizar a variabilidade dos desvios de ajuste entre estoques, e consequentemente os impactos negativos causados no desempenho destes.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. **Amostrar densidade aparente em pilhas de produtos**. Ouro Preto, 2009.

ANM - AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas 2019**. Brasília. 2020.

ANM. **Distribuição CFEM**. ANM Extra Sistema de Arrecadação, 2020. Disponível em: https://sistemas.anm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/distribuicao_cfem_ano.aspx?ano=2020 . Acesso em: 05 mar. 2021.

AYUBA, Sohail *et al.* Performance evaluation of agro-based adsorbents for the removal of cadmium from wastewater. **Desalination and Water Treatment**, v. 142, p. 293-299, 2019. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23455>

BASSAN, Edilberto José. **Gestão da qualidade: ferramentas, técnicas e métodos**. Curitiba: Publicação independente, 2018.

BASSI, E.; VALENTE, C. M. O.; AMARAL, C. S. T.; CAMPANINI, L., Fatores de sustentação dos resultados do kaizen na produtividade: estudo de caso múltiplo. **Produção Online**, v. 20, n. 1, p. 247-274, 2020. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v20i1.3523>

CHIARINI, Andrea. Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research. **The TQM Journal**, 2020. <https://doi.org/10.1108/TQM-04-2020-0082>

CLUNE, Conor; O'DWYER, Brendan. Framing engagement that resonates: organizing advocacy for corporate social and environmental accountability. **European Accounting Review**, v. 29, n. 5, p. 851-875, 2020. <https://doi.org/10.1080/09638180.2020.1746374>

COUTINHO, T. **Ciclo PDCA e sua relação com o método DMAIC**. 24 set. 2017. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/ciclo-pdca> .

DE WERK, Marco et al. Cost analysis of material handling systems in open pit mining: Case study on an iron ore prefeasibility study. **The Engineering Economist**, v. 62, n. 4, p. 369-386, 2017. <https://doi.org/10.1080/0013791X.2016.1253810>

DRUMMOND, Pamella; ARAUJO, Fernando; BORGES, Renata. Meeting halfway: assessing the differences between the perceptions of ERP implementers and end-users. **Business Process Management Journal**, 2017. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-05-2016-0107>

ESSER, W. **A importância do controle interno, do inventário e da auditoria para as organizações**: um estudo de caso da Agropecuária Hermes Petry & CIA LTDA–ME. 2010. 59 f. Monografia (Graduação em Ciências Contábeis)–Faculdade de Ciências Contábeis e Administração do Vale do Juruena, Juína, 2010.

FELICIANO, A. F. S.; GARCIA, S. Divulgação Socioambiental: relato sobre rejeitos minerais das empresas de mineração no brasil. 2020. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 2020. [Anais...].

FERNANDES, RAFAEL. Compartmental Epidemiological Models for Covid-19: Sources of Uncertainty, Goodness-of-Fit and Goodness-of-Projections. **IEEE Latin America Transactions**, v. 19, n. 6, p. 1024-1032, 2021. <https://doi.org/10.1109/TLA.2021.9451248>

GAN, Yu; GRIFFIN, W. Michael. Analysis of life-cycle GHG emissions for iron ore mining and processing in China: uncertainty and trends. **Resources Policy**, v. 58, p. 90-96, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.03.015>

GARCIA, Solange et al. Qualidade da divulgação socioambiental: um estudo sobre a acurácia das informações contábeis nos relatórios de sustentabilidade. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v. 12, n. 25, p. 67-94, 2015. <https://doi.org/10.5007/2175-8069.2015v12n25p67>

GLOBAL SOLAR ATLAS. 03 de maio de 2021. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/detail?c=-6.073304,-49.818192,11&s=-6.073436,-49.818541&m=site&pv=medium,0,12,100>.

GOMES, M. F. **Redução das divergências dos estoques do Complexo Vargem Grande**. Belo Horizonte, 2017.

JURAN, Joseph M.; DEFEO, Joseph A. **Fundamentos da qualidade para líderes**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2015.

KING, N. C. de O.; LIMA, E. P.; COSTA, S. E. G. da. Produtividade sistêmica: conceitos e aplicações. **Production**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 160-176, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000006>

LAURINTINO, Thaíris Karoline Silva et al. Ferramenta da gestão da qualidade total: estudo de caso em uma indústria de laticínio. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, p. 12033-12072, 2019. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n8-059>

LOVÓN-CANCHUMANI, Giancarlo Alfonso *et al.* Avaliação do ciclo de vida na mineração: estudos da produção de minério de ferro. 2015. In: LOVÓN-CANCHUMANI, G. A.; LIMA, F. M. D. R. D. S.; OLIVEIRA, P. P. D. **Série estudos e documentos**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2015.

LUZ, A. B. D.; LINS, F. A. F. Introdução ao tratamento de minérios. *In*: COPM, C. D. P. M.- **Introdução ao tratamento de minérios**. 5. ed. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. p. 3-20.

MAIA, D. et al. **Capacitação mina, ferrovia e porto para redução dos impactos de manuseio de minério de ferro no sistema de descarga do porto de ponta da madeira**. *In*: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS-PRIMAS, 42 / SEMINÁRIO BRASILEIRO DE MINÉRIO DE FERRO, 13 / INTERNATIONAL CONGRESS ON THE SCIENCE AND TECHNOLOGY OF IRONMAKING, 6., 2012. [**Anais...**] Rio de Janeiro, p. 2781-2792, 2012.

MARSHALL, I. J. E. A. **Gestão da qualidade e processos**. Rio de Janeiro: FGV, 2012.

NASCIMENTO, Daniel Luiz Mattos et al. Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0071>

NICHOLLS, Jeremy Andrew. Integrating financial, social and environmental accounting. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, v. 11, n. 4, p. 745-769, 2020. <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-01-2019-0030>

PALADINI, E. P. **Gestão e avaliação da qualidade**: uma abordagem prática. São Paulo: Atlas, 2019.

PEINADO, G. A. R. **Administração da produção**: operações industriais e serviços. Curitiba: UnicenP, 2007.

REICHL, C.; SCHATZ, M.; MASOPUST, A. **World Mining Data 2020**, 2020. Disponível em: <http://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD2020.pdf> . Acesso em: 05 mar. 2021.

RIBEIRO, João Vitor et al. O rompimento da barragem da Samarco e a construção de significados: o caso de agentes públicos de órgãos de amparo e socorro aos atingidos pela lama. **Farol-Revista de Estudos Organizacionais e Sociedade**, v. 6, n. 15, p. 115-162, 2019.

ROMERO, Sérgio Luiz Gusmão Gimenes. A economia no meio do caminho: mineração e endividamento no Drummond da década perdida. **Literatura: teoria, história, crítica**, v. 22, n. 2, p. 127-151, 2020. <https://doi.org/10.15446/lthc.v22n2.86090>

RUDIO, F. V. **Introdução ao Projeto de Pesquisa Científica**. 9. ed. ed. Petrópolis: Vozes, 1985.

SANE, R. Beneficiation and agglomeration of manganese ore fines (an area so important and yet so ignored). *In*: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2018. p. 012033. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/285/1/012033>

SHEN, Xun et al. Burdening proportion and new energy-saving technologies analysis and optimization for iron and steel production system. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 2153-2166, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.204>

SILVA, M. M.; CAMPAROTTI, C. E. S.; ENAMI, L. M.; GUEDES, K.; REIS, B. L.; ORDENO, T. S. B., Aplicação da metodologia seis sigma para melhoria contínua da qualidade em uma indústria alimentícia. **Produção Online**, v. 20, n. 2, p. 546-574, 2020. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v20i2.3622>

TORNELLI, F. R; Souza, C. J. A. S; Guerra, M. O. L. A utilização de ferramentas de gestão da qualidade no desempenho de uma usina de beneficiamento mineral. Minas Gerais. 2017. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (Conbrepro)*, 1., 2016. [Anais...]. Ponta Grossa, PR, 2016.

TURUTA, Tatiana Barbosa. **Aplicação de cartas de controle como ferramenta de melhoria frente às dificuldades operacionais de laboratórios acreditados na ABNT NBR ISO/IEC 17025**. 2015. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2015.

VALE. www.vale.com/brasil. **Vale do Brasil**, 2020. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/business/mining/Paginas/default.aspx> . Acesso em: 05 mar. 2021.

WÅRELL, Linda. An analysis of iron ore prices during the latest commodity boom. **Mineral Economics**, v. 31, n. 1, p. 203-216, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13563-018-0150-2>

XU, Lu et al. Quality management theory development via meta-analysis. **International Journal of Production Economics**, v. 229, p. 107759, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107759>



Artigo recebido em: 15/03/2021 e aceito para publicação em: 09/09/2021
DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i3.4252>